

Trabajo fin de grado  
Grado en Óptica y Optometría  
Universidad de Zaragoza

# Estudio de telescopios de Galileo como ayudas de baja visión

Realizado por:

**Álvaro Acero Villalta**

Bajo la supervisión de:

**M<sup>a</sup> Victoria Collados Collados y Juan Antonio Vallés Brau**

Departamento de Física Aplicada. Universidad de Zaragoza



<b><u>ÍNDICE:</u></b>	<b>Página</b>
1. Introducción .....	1
1.1. La baja visión .....	1
1.2. Telescopios como ayudas para baja visión .....	2
1.3. Telescopios montados en gafa .....	3
1.4. Biópticos para conducir .....	4
2. Objetivos .....	5
3. Criterios y metodología .....	6
3.1. Diseño de telescopios de Galileo .....	6
3.2. Análisis de los telescopios como biópticos .....	7
3.2.1. Campo de iluminación media y límite .....	7
3.2.2. Transmisión de rayos .....	8
3.2.3. Aberraciones y difracción .....	8
3.3. Asferización de los biópticos .....	8
3.4. Análisis de los resultados para la conducción .....	8
4. Resultados y discusión .....	10
4.1. Diseño de telescopios de Galileo .....	10
4.2. Análisis de los telescopios como biópticos .....	11
4.2.1. Campo de iluminación media y límite .....	11
4.2.2. Transmisión de rayos .....	12
4.2.3. Aberraciones y difracción .....	12
4.3. Asferización de los biópticos .....	16
4.4. Análisis de los resultados para la conducción .....	19
5. Conclusiones .....	22
6. Bibliografía .....	23



## 1. INTRODUCCIÓN:

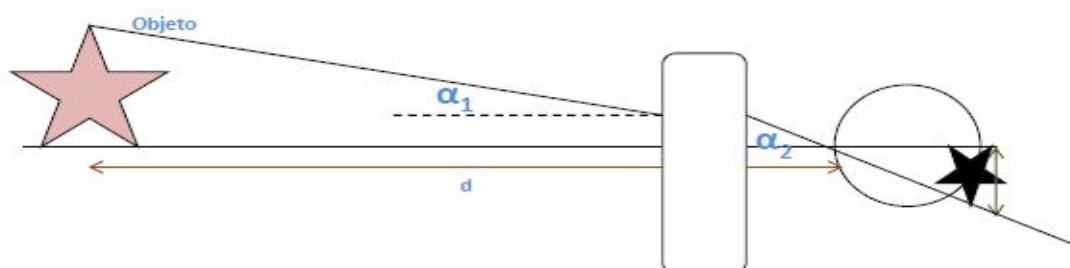
### 1.1 La baja visión.

Una persona con baja visión es aquella que tiene una incapacidad en la función visual aún después de tratamiento y/o refracción común. En realidad no existe una definición legal pero, si tuviéramos que darle unos límites, serían desde 0,3 hasta percepción de luz, en cuanto a agudeza visual (AV) en el mejor ojo; o inferior a  $10^\circ$  desde el punto de fijación respecto al campo visual [1]. Esta condición conlleva una incapacidad a la hora de la planificación y ejecución de algunas tareas [2].

La baja visión no es un concepto absoluto. Si anteriormente la definimos según la AV y el campo visual, existen otras funciones visuales que pueden estar afectadas, como son la percepción del color, la sensibilidad al contraste, la adaptación a los cambios de iluminación, la fijación, la fusión y la motilidad ocular. Desde el punto de vista funcional pueden considerarse como personas con baja visión aquellas que poseen un resto visual suficiente para ver la luz, orientarse por ella y emplearla con propósitos funcionales [2].

En el mundo hay unas 285 millones de personas con discapacidad visual, de las cuales 39 millones son ciegas y 246 millones presentan baja visión. La degeneración macular asociada a la edad, cataratas, glaucoma, retinopatía diabética, miopía magna y uveítis son las principales patologías oculares que causan baja visión [1].

Ópticamente, el objetivo fundamental en un paciente con baja visión es el de aprovechar el resto visual, mejorando capacidades visuales como la AV. Para ello existen instrumentos llamados ayudas visuales, que incrementan el tamaño de la imagen en la retina, este incremento se conoce como aumento visual o magnificación. El aumento visual resulta de modificar el ángulo con que se ve el objeto mediante un instrumento óptico. Si no podemos acercar el objeto ni ampliar su tamaño, aumentamos el tamaño de la imagen de dicho objeto en la retina con un sistema que cambie la dirección de los rayos que vienen del objeto. Se define aumento visual =  $\tan \alpha_2 / \tan \alpha_1$ , donde  $\alpha_2$  y  $\alpha_1$  son dos ángulos bajo los que se ve al objeto con y sin instrumento, respectivamente (ver figura 1) [3].



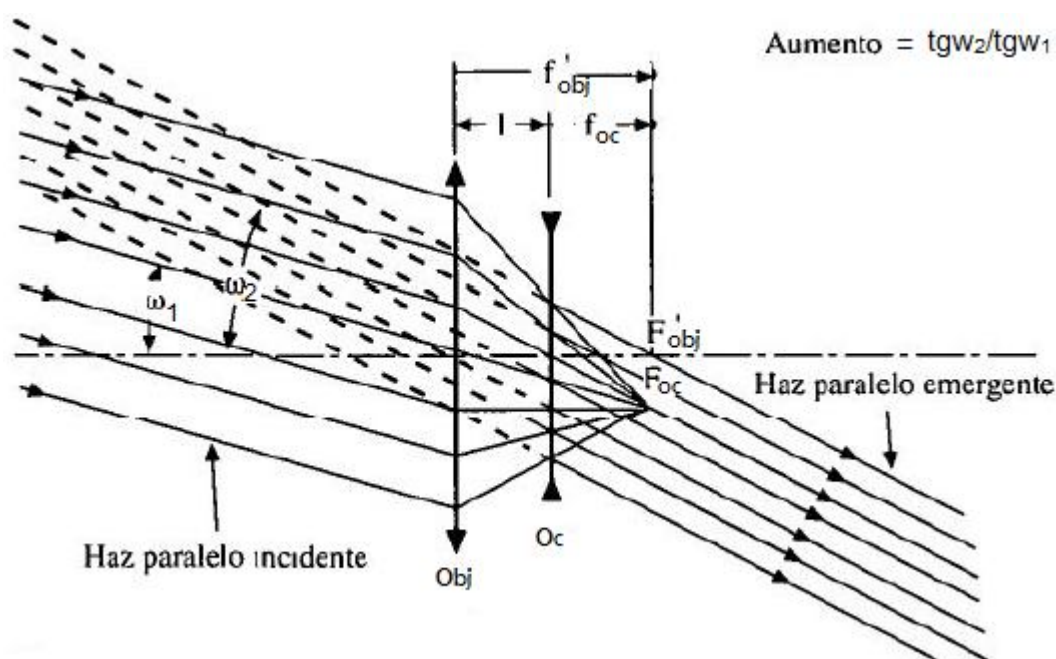
**Figura 1. Esquema de cómo se consigue el aumento visual a través de una ayuda óptica.**

Existen muchos tipos de ayudas visuales, como los hiperoculares, lupas, ayudas electrónicas, telescopios, filtros terapéuticos, etc...

### 1.2 Telescopios como ayuda para baja visión.

Los telescopios pueden utilizarse como ayudas visuales para aumentar la AV de la manera descrita anteriormente. Su utilidad principal es mejorar la zona central de la visión, es decir, a aquellos ojos afectados por patologías que actúan en la fovea [1].

Un sistema telescópico está formado en general por dos elementos, un objetivo y un ocular. Si se usan para visión lejana se hace coincidir el foco imagen del primero con el foco objeto del segundo, antes o después del ocular, siendo de tipo Kepler o Galileo, respectivamente (ver figura 2):



**Figura 2. Trazado de rayos de un telescopio de Galileo donde los focos ( $F'_{obj}$  y  $F_{oc}$ ) coinciden después del sistema al estar el objeto en el infinito.**

Los Galileos dan una imagen derecha utilizando un ocular de potencia negativa, al contrario que los Kepler, que necesitan de un sistema inversor adicional, ya que dan en principio una imagen invertida. Las principales desventajas de ambos tipos son: el cambio en la apreciación espacial del objeto (parece que está más cerca de lo que en realidad está), el movimiento de paralaje al mirar a través de ellos y la limitación del campo visual [4].

Los telescopios como ayudas para baja visión pueden ser monoculares o binoculares, enfocables o no, manuales o montados en gafa. También se puede tener un sistema telescópico con una lente oftálmica de objetivo, y una lente de contacto como ocular. Son ayudas pensadas para visión lejana, pero se pueden adaptar para distancias más próximas, acoplando una lente positiva delante, este sistema es conocido como telemicroscopio [5].

En ocasiones un Galileo invertido se utiliza como expansor del campo, resultan prácticos cuando la AV está muy disminuida y el campo visual es pequeño.

### **1.3 Telescopios montados en gafa**

Los Galileos tienen un tamaño menor que los Kepler, por el hecho de que éstos últimos tienen la focal imagen del objetivo entre éste y el ocular y no detrás del ocular como los Galileos, de manera que, para Kepler montados en gafa, se puede llegar a utilizar periscopios para que el telescopio sobresalga lo mínimo posible de la montura [6] [7] [8].

Los telescopios montados en gafa pueden acoplarse en 3 posiciones según el propósito de su utilización:

- Los montados en posición central se utilizan para tareas estáticas, como ver la televisión. Se adaptan a una montura corrigiendo la refracción de lejos del paciente situando el ocular del telescopio en la posición adecuada. No permiten que el paciente mire por fuera del telescopio a través de una lente oftálmica.
- Los montados en posición superior, al contrario, permiten desplazarse durante su uso. Son telescopios de diámetro pequeño colocados en la parte superior de las gafas de forma que el borde inferior del telescopio coincida con el borde superior pupilar (ver figura 3). El paciente se desplaza libremente mirando por sus lentes graduadas de lejos y cuando necesita precisión y detalle agacha ligeramente la cabeza elevando levemente la mirada, para que su eje visual coincida con el eje óptico del telescopio, que está ligeramente inclinado.
- Los montados en posición inferior tienen las mismas características, sólo que son utilizados para tareas de visión cercana, como leer y escribir. Además, fuera de la baja visión, son de gran utilidad en cirugía, microelectrónica y relojería [4] [8].



**Figura 3. Telescopio montado en posición superior 'Ocutech VES® - Mini'.**

Un sistema bióptico es aquel que, montado en la parte superior o inferior de una lente convencional de material orgánico (con la prescripción adecuada y

filtro terapéutico, si procede), permite ver a través de él con una ligera inclinación de la cabeza, pudiéndonos mover con ellos sin problema.

En España están disponibles en diferentes formatos, tamaños y potencias, y se utilizan para permitir a la persona con problemas de visión realizar actividades como ver las caras de las personas, una pizarra, un libro de texto, el número de un autobús que se acerca, etc. Deben ser prescritos por un especialista en baja visión [8] [9].

En otros países, los sistemas biópticos están mucho más extendidos, la razón principal es que se permite su uso para la conducción, donde se utilizan los montados en posición superior exclusivamente.

#### **1.4 Biópticos para conducir.**

El acceso a una movilidad independiente de cualquier nivel es un objetivo principal en la rehabilitación de la visión. El modo de vida de una persona puede depender de una movilidad mecanizada independiente. Para este propósito, la prescripción de gafas con telescopios biópticos puede ser apropiada para satisfacer una variedad de necesidades visuales. Concretamente, la posibilidad de conducir un vehículo proporciona a la persona que no se ve impedida una independencia y una sensación de autosuficiencia importante (ver figura 4) [10].

Según la Dirección General de Tráfico, un conductor discapacitado físico tiene a su alcance suficientes recursos técnicos para que su discapacidad no origine una desventaja en el uso del vehículo [11]. Parece entonces razonable preguntarse qué podemos hacer para que una discapacidad visual tampoco sea una desventaja, en la medida de lo posible.

Estados Unidos es el pionero en la utilización de biópticos para conducir y es el lugar dónde más extendidos están. Cuarenta de los cincuenta estados pertenecientes al país han legalizado con los años la posibilidad de ofrecer a una persona con baja visión esta oportunidad, si bien en la actualidad hay estados que tienen pendiente su aprobación. Aparte de EEUU, también están permitidos en otros países, como Australia, Holanda, Bélgica, Reino Unido y algunas provincias de Canadá. Existen muchos otros que no lo reflejan directamente en las leyes, pero que lo permiten entendiendo el bióptico como parte de las gafas [10] [12].



**Figura 4. Ejemplo de la visión a través de un telescopio bióptico.**



Las personas a las que está dirigida esta ayuda visual son aquellas que cumplen con otros requisitos para conducir pero que, debido a su deficiencia en la visión, tienen dificultades a la hora de visualizar carteles en la carretera, o cualquier detalle en relación con la conducción. Los requisitos más habituales para poder utilizar biópticos en EEUU (los requisitos cambian según el estado) son tener una AV de 0,4 con gafas y 0,5 con bióptico, y un campo visual de 120° de vista horizontal en el mejor ojo, que es el que se utiliza para determinar la AV. También se ha de tener la condición de ojo estable, es decir, hay que tener la garantía de que la visión no va a empeorar. Además, se debe tener la capacidad de diferenciar colores y de seguir objetos [12] [13].

De modo que una persona con baja visión sólo puede conducir si llega al 0,4 ó 0,5 con su corrección, el bióptico es una ayuda complementaria.

Algunos estados limitan el uso de biópticos para conducir mediante una licencia restringida, que va desde conducir sólo durante el día, hasta tener un recorrido limitado, o excluir el uso de autopistas [14].

En España no están permitidos los biópticos para la conducción. Los requerimientos para obtener un carnet de conducir del grupo 1 en cuanto a visión (conductores no profesionales, en el que está incluido el carnet B) son básicamente tres: (1) La AV debe ser de al menos 0,5 en el mejor ojo; (2) el campo visual de un conductor no profesional puede tener alteraciones, como escotomas relativos o un descenso de la sensibilidad retiniana, es el criterio del oftalmólogo el que decide; (3) no puede haber alteraciones significativas de la sensibilidad al contraste [15].

## **2. OBJETIVOS.**

En este trabajo realizaremos un estudio de telescopios de Galileo, a modo de biópticos, para explorar sus características y la viabilidad de su uso para la conducción. Abordaremos la mejora de los diseños mediante la asferización de la primera cara del objetivo.

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

1. Diseñar sistemas telescópicos de Galileo con distintos aumentos.
2. Estudiar la aplicación de los telescopios diseñados como biópticos para conducir, teniendo en cuenta las necesidades visuales mínimas en relación con la AV y el campo visual; analizando sus características en cuanto a aberraciones y transmisión de luz.
3. Estudiar los telescopios diseñados cuando asferizamos la cara anterior del objetivo, observando las variaciones en la calidad de imagen.

### **3. CRITERIOS Y METODOLOGÍA.**

Todas las simulaciones han sido realizadas con el programa “Optics Software for Layout Optimization” (OSLO) de Lambda Research Corporation. Este programa realiza el cálculo de sistemas mediante trazado real de rayos y ofrece numerosas herramientas para su análisis.

#### **3.1 Diseño de telescopios de Galileo**

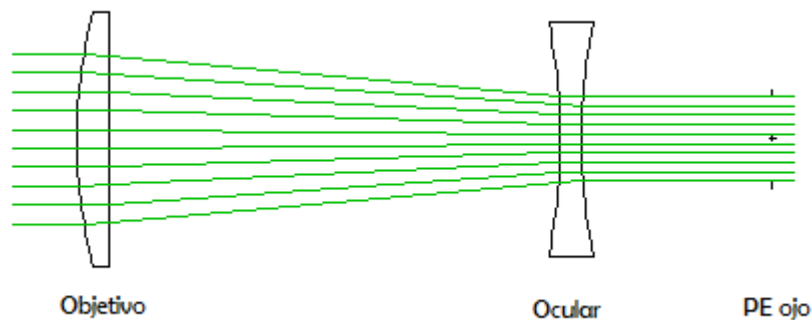
Se diseñan telescopios de Galileo con aumentos desde 1,5x hasta 4,0x (en pasos de 0,5x). Estos valores de aumentos son típicos de telescopios de Galileo comerciales para baja visión.

La elección de los parámetros del telescopio la realizamos con vistas a su utilidad como biópticos para conducir, basándonos tanto en patentes como en telescopios reales, que nos proporcionan valores adecuados para su estudio:

- El objetivo puede tener una forma circular o rectangular. Elegimos una forma circular del objetivo (también del ocular) para evitar complicaciones en el diseño en OSLO. En cuanto al diámetro, tomamos las medidas de dos biópticos reales de 2,0x y 2,2x que, a pesar de no tener como finalidad la conducción, se aproximan al tamaño de biópticos para conducir de distintas patentes [16] [17] [18]. De modo que optamos por un objetivo de 12mm de diámetro y un ocular de 11mm.
- El índice de refracción del objetivo es 1,49 [16]. Mientras que al ocular le asignamos un índice mayor, viendo que hay más variedad en su elección en las distintas patentes [16] [17] [18], siendo siempre mayor al del objetivo. Elegimos el valor más habitual: 1,6.
- La potencia de las lentes depende del aumento deseado. En un telescopio de Galileo real estimamos mediante un esferómetro la potencia del objetivo, siendo ligeramente mayor a +20,00D, elegimos +22,00D, que nos da una longitud menor en el conjunto del bióptico. En cuanto al ocular, tal y como se tiene en la Referencia 18, viene ajustando su potencia en función de los aumentos del telescopio.
- El espesor del objetivo es de 1,5mm, que es el espesor mínimo para que sea realizable con los parámetros establecidos. Para el ocular elegimos 1mm, espesor típico para lentes negativas de índice 1,6.
- La forma de las lentes, según las distintas patentes, es convexo-plana para el objetivo, y para el ocular puede ser plano-cóncavo o biconcavo. Las aberraciones del telescopio con ocular biconcavo resultan ser menores cuando los simulamos en OSLO que las del telescopio con ocular plano-cóncavo. Por eso elegimos el biconcavo, que dará una imagen de más calidad.
- Los telescopios están diseñados para que su última superficie quede 6mm por delante del vértice corneal (9mm de la pupila de entrada del ojo), sobresaliendo un poco por la parte posterior de la lente cuando se monta en gafa.

- La distancia entre lentes será aquella que proporcione la mayor calidad de imagen.
- Por último, debemos elegir un tamaño de pupila de entrada del ojo adecuada para los usuarios de los biópticos. Una persona con baja visión no debería conducir de noche a no ser que sea imprescindible y en algunos casos ni siquiera lo tendrá permitido. Es por eso por lo que una medida lógica de la pupila de entrada es de 4mm de diámetro, medida estándar en condiciones fotópicas. En el caso de que el tamaño de la pupila de la persona con patologías oculares sea anormal, debería tenerse en cuenta a la hora de permitir la utilización de biópticos para conducir.

En la figura 5 se muestra la configuración del telescopio 2,0x, donde se representan los dos elementos que lo constituyen: el objetivo y el ocular, además de la pupila de entrada del ojo.



**Figura 5. Representación en OSLO del telescopio 2,0x**

## **3.2 Análisis de los telescopios como biópticos**

### **3.2.1 Campos de iluminación media y límite**

Para determinar el diafragma de apertura (DA) y el diafragma de campo (DC) en cada telescopio, y calcular los campos de iluminación media (CIM) y límite (CIL) pasamos todas las superficies al espacio imagen. Con ayuda de OSLO, averiguamos la posición y tamaño de la imagen de cada una de las superficies del sistema.

La pupila de salida (PS) (imagen del DA en el espacio imagen) será la imagen de la superficie que tenga menor tamaño en el espacio imagen, ya que la imagen que forma el sistema se encuentra en el infinito. Una vez hallada la PS podemos calcular la posición de la PE.

La lucarna de salida (LS) (imagen del DC en el espacio imagen) será la imagen de la superficie que subtende el menor ángulo respecto a la PS, lo calculamos a partir de la posición y diámetro de todas las superficies en espacio imagen que hemos calculado con OSLO. Una vez hallada la LS podemos calcular la posición de la LE.

Una vez establecidos DA y DC, calculamos el CIM y el CIL de dos formas, la primera utilizando el cálculo paraxial, considerando los tamaños de la PE y la LE; y la segunda mediante trazado de rayos en OSLO, calculando la inclinación máxima de los rayos que entran al sistema para que pasen a través de él la mitad de los rayos que se dirigen a la pupila de entrada del sistema (CIM) o sólo uno (CIL).

### **3.2.2 Transmisión de rayos**

OSLO nos permite calcular el porcentaje de rayos que se transmiten a través del sistema, de modo que en eje debería ser siempre un 100%, y en el CIM un valor cercano al 50%. Analizaremos el porcentaje de rayos transmitidos por el sistema en función del campo objeto.

### **3.2.3 Aberraciones y difracción**

OSLO puede calcular el tamaño del diagrama de impactos (TDI) para los rayos que inciden en el sistema procedentes de cualquier punto del campo objeto. El TDI es un parámetro calculado a partir de la distribución de impactos en el plano imagen, que viene dado en radianes.

Además, OSLO evalúa las aberraciones de tercer orden, permitiendo conocer la influencia de cada una de ellas en la calidad de la imagen. También evalúa el tamaño del disco de Airy que indica la limitación en la resolución por efecto de la difracción.

## **3.3 Asferización de los biópticos**

Analizaremos el efecto de la asferización de la cara anterior del objetivo, intentando reducir la aberración esférica en eje. Y compararemos sus prestaciones de estos nuevos formatos con las de los telescopios iniciales.

## **3.4 Análisis de los resultados para la conducción**

Por último, comprobaremos si todas las características anteriores hacen de los biópticos una ayuda viable para la conducción.

Teniendo en cuenta que, como hemos visto anteriormente, en España se pide un 0,5 de AV, y que, en los países donde se permite el uso de biópticos como EEUU, se debe tener también una AV de 0,5 con el bióptico (variando en su mayoría de 0,4 a 0,5 la exigencia con las lentes correctoras donde está incrustado el bióptico), estableceremos en 0,5 la AV necesaria [15].

La aplicación fundamental durante la conducción del bióptico es la visión de detalles concretos, en los que incluimos semáforos o carteles indicativos. En el tamaño de estos últimos nos basaremos para nuestros cálculos.

La altura básica de los caracteres varía según el cartel, los más pequeños son los paneles complementarios como el de la figura 6, donde los caracteres miden como mínimo 10cm de alto. El resto de carteles tienen caracteres más grandes, así que si alguien es capaz de ver este cartel complementario, verá cualquier otro cartel, siendo la gran mayoría de un tamaño mayor a éste [19].

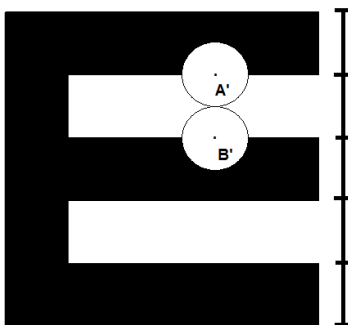


**Figura 6. Panel complementario en una señal de ceda el paso.**

Con esta información podemos saber para qué distancia mínima están hechos los carteles de manera aproximada, ya que hemos de tener en cuenta otros factores, como por ejemplo, una señal de limitación de 80km/h en una carretera con límite de 100km/h debe verse a una distancia suficiente para decelerar 20km/h antes del cartel. Tenemos pues, que basándonos en la AV de 0,5, se verán los caracteres más pequeños de 10cm a una distancia de 34m aprox.

Con esta distancia calcularemos tanto el campo visual útil en este caso concreto, como la viabilidad de todos los telescopios diseñados, que deberán ser utilizables a una distancia igual o mayor. Para calcular el campo visual útil del telescopio hemos de tener en cuenta dos factores:

- Debe haber una transmisión de rayos suficiente en cuanto a la iluminación.
- El TDI ha de ser tolerable en cuanto a calidad de imagen. Para reconocer una letra como, en este caso, la E de Snellen de la figura 7, se deben distinguir cada uno de los 5 trazos en los que la dividimos. Si la aberración es tal que el tamaño de la imagen de un punto supera el tamaño de un trazo en la imagen (lo que supone en la figura 7 que las imágenes de dos puntos como A' y B' se solapan), no podremos distinguir un trazo de otro y no podremos ver nítido el cartel. Por tanto, la aberración será significativa cuando el tamaño del diagrama de impactos sea igual o mayor al tamaño del trazo de una letra E de Snellen de AV=0,5 en la imagen. Para ello debemos tener en cuenta, además, el aumento paraxial del sistema.



**Figura 7. E de Snellen dividida en 5 trazos.**

Hallaremos el valor del campo objeto para el que el TDI se mantiene dentro de este criterio y lo compararemos con el campo obtenido analizando la iluminación. El menor de los dos lo consideraremos el campo útil del telescopio.

A partir del TDI en el extremo del campo visual útil, calcularemos la distancia a la que se podrá ver la letra de 10cm y su AV correspondiente.

Este campo visual útil nos dará una idea de lo que un deficiente visual podrá ver a través de su bióptico desde una distancia concreta.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Diseño de telescopios de Galileo

En la tabla 1 se presentan los valores de longitud de cada uno de los telescopios, el radio de curvatura de los oculares y su potencia, teniendo en cuenta que el objetivo es siempre de +22,00D. Además, hemos indicado qué superficies actúan como DA y DC. El radio de curvatura del ocular está en valor absoluto, siendo de signo opuesto en cada una de las caras, ya que es biconcavo como podemos ver en la figura 5.

**Tabla 1. Longitud, radio de curvatura y potencia del ocular de cada uno de los telescopios. DA y DC de cada uno de ellos.**

TELESCOPIOS	Longitud (mm)	Radio de curvatura del ocular (mm)	Potencia del ocular (D)	DA	DC
1,5x	16,03	36,48	-33,06	Pupila	Objetivo
2,0x	23,80	27,46	-43,99	Pupila	Objetivo
2,5x	28,22	22,00	-55,01	Pupila	Objetivo
3,0x	31,09	18,37	-65,99	Pupila	Objetivo
3,5x (DA obj)	33,21	15,80	-77,00	Objetivo	Pupila
4,0x (DA obj)	34,81	13,82	-88,00	Objetivo	Pupila
3,5x (DA pup)	33,01	15,77	-77,00	Pupila	Objetivo
4,0x (DA pup)	34,50	13,82	-88,00	Pupila	Objetivo

El DA obtenido para los telescopios de entre 1,5x y 3,0x es la pupila de entrada del ojo. A la hora de fabricar los telescopios de 3,5x y 4,0x, observamos que el DA deja de ser la pupila del ojo, y pasa a ser la primera cara del objetivo (ver tabla 1). Cuando el DA es el objetivo, la luminosidad o cantidad de energía que llega al ojo se ve limitada por el instrumento, esto disminuye su utilidad. Los rayos que inciden en el telescopio no llenan el diámetro de la pupila de 4mm. Para estos dos diseños hemos calculado la razón entre el área de la pupila de

salida del telescopio y la pupila de entrada del ojo, lo que nos da una idea de la limitación que introducen en la luminosidad de la imagen. Para el 3,5x (DA obj) esta razón es 0,72 y para el 4,0x (DA obj) es de 0,54.

Calculamos nuevos telescopios donde aumentamos el diámetro del objetivo para que el DA sea la pupila de entrada del ojo. En estos casos obtenemos unos objetivos más grandes y con mayor espesor, pero con unas medidas todavía aceptables para poder ser montados en la parte superior de unas gafas. El diámetro del objetivo aumenta hasta 14,4mm en el de 3,5x y hasta 16,6mm en el de 4,0x. El valor del espesor del objetivo se conserva en el telescopio de 3,5x y es de 2mm en el de 4,0x.

De todos modos, seguimos trabajando también con los primeros siendo conscientes de que limitan la energía que se transmite a través del telescopio, para ver qué resultados obtenemos. De aquí en adelante serán 3,5x (DA Obj) y 4,0x (DA Obj), mientras que los que tienen el objetivo más grande serán 3,5x (DA pup) y 4,0x (DA pup).

En los siguientes apartados podemos ver las características de los telescopios diseñados.

## **4.2 Análisis de los telescopios como biópticos**

### **4.2.1 Campo de iluminación media y límite**

En la tabla 2 se recogen los valores de CIM y CIL, calculados con OSLO y de forma paraxial.

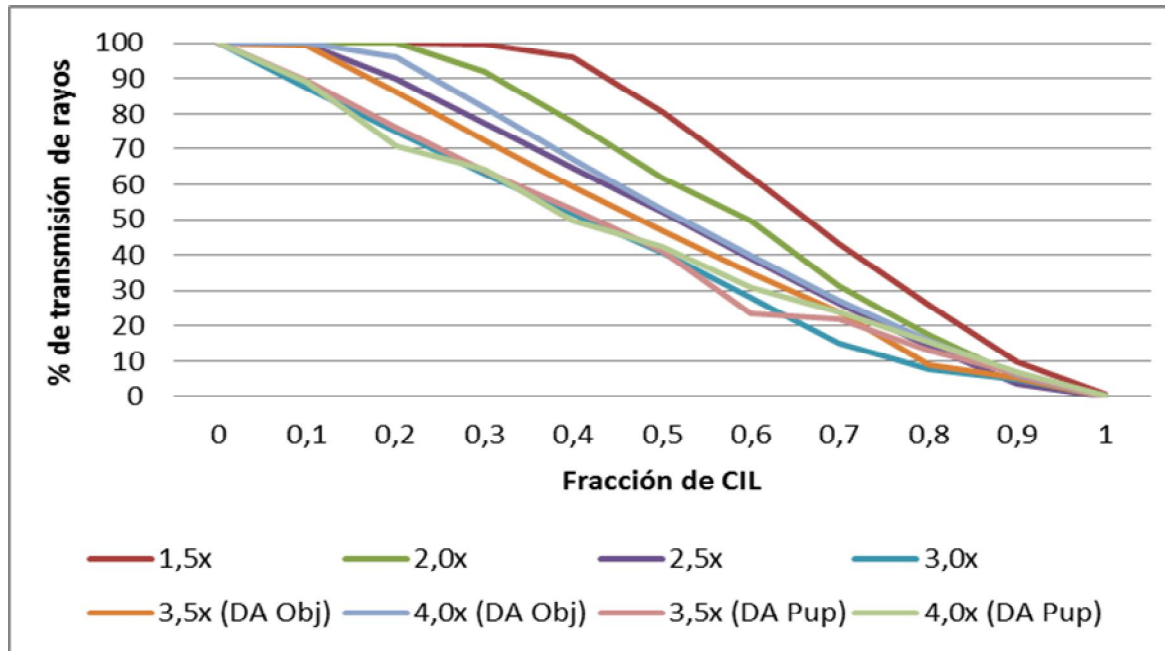
**Tabla 2. Valores del CIM y CIL.**

TELESCOPIOS	CIM	CIM (paraxial)	CIL	CIL (paraxial)
1,5x	15,78°	15,64°	22,80°	23,06°
2,0x	8,26°	8,29°	13,28	13,63°
2,5x	5,40°	5,46°	9,24°	9,87°
3,0x	3,92°	3,97°	7,70°	7,81°
3,5x (DA obj)	3,54°	3,51°	6,44°	6,50°
4,0x (DA obj)	3,22°	3,21°	5,54°	5,59°
3,5x (DA pup)	3,58°	3,67°	7,02°	7,11°
4,0x (DA pup)	3,24°	3,29°	6,34°	6,53°

Observamos que el campo de visión disminuye conforme el aumento es mayor, siendo el valor razonable en todos los telescopios, pues es la zona de visión central la que debemos potenciar para mejorar la AV, que no abarca más de 2°.

#### 4.2.2 Transmisión de rayos

En la figura 8 se muestra el porcentaje de rayos que se transmiten en función de la fracción del CIL.



**Figura 8. Transmisión de los rayos de los telescopios dependiendo de la inclinación con la que inciden en función de la fracción de CIL.**

Los valores de la transmisión de rayos (%) para cada CIM son:

**Tabla 3. Tabla de transmisión de rayos en el CIM.**

Telescopio	1,5x	2,0x	2,5x	3,0x	3,5x (DAobj)	4,0x (DAobj)	3,5x (DApup)	4,0x (DApup)
%	45,00	43,11	41,11	39,37	40,75	42,15	39,59	38,97

Estos valores de la tabla 3 están próximos al 50%, en el caso de los telescopios 3,5x (DA obj) y 4,0x (DA pup) este porcentaje de transmisión de rayos se ve afectado por el factor de disminución de luminosidad de la imagen calculado en el apartado 4.1, siendo en general menor la proporción de rayos que se transmite cuanto mayor es el aumento.

#### 4.2.3 Aberraciones y difracción

En la figura 9 mostramos las gráficas con la evolución del TDI en función de la fracción del CIL para cada uno de los telescopios diseñados.



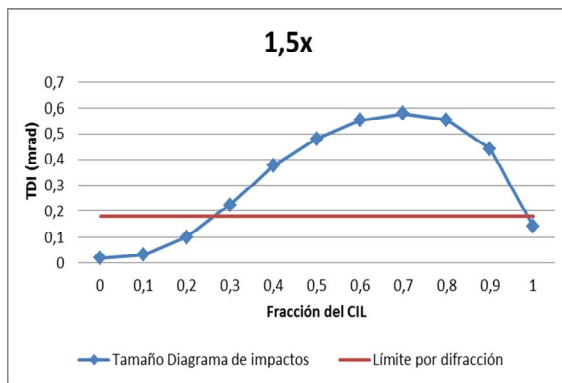


Figura 9.a

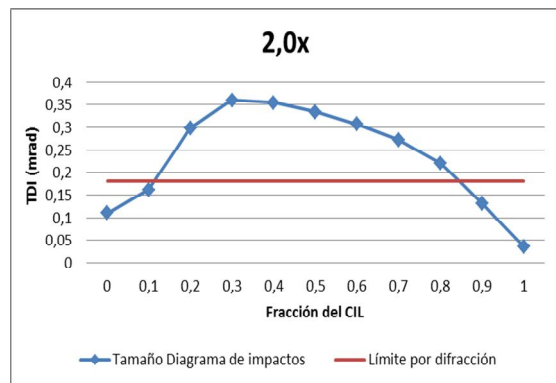


Figura 9.b

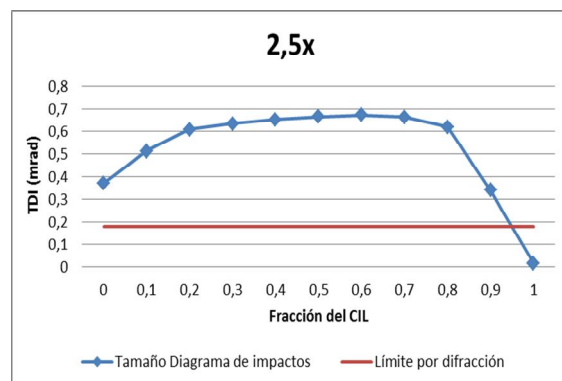


Figura 9.c

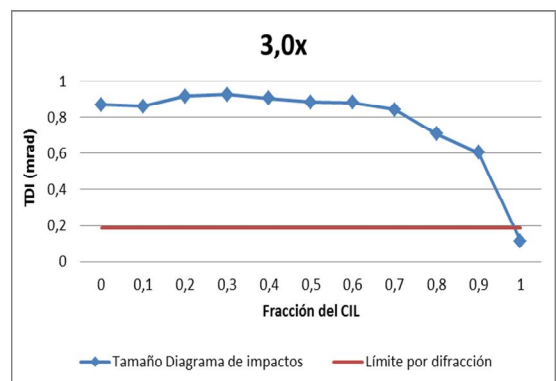


Figura 9.d

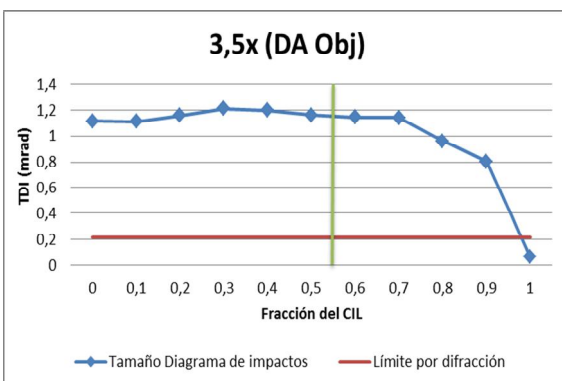


Figura 9.e

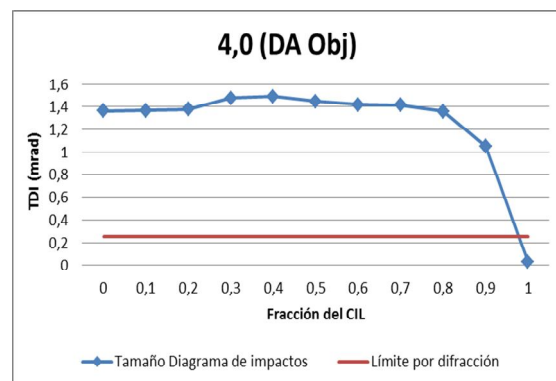


Figura 9.f

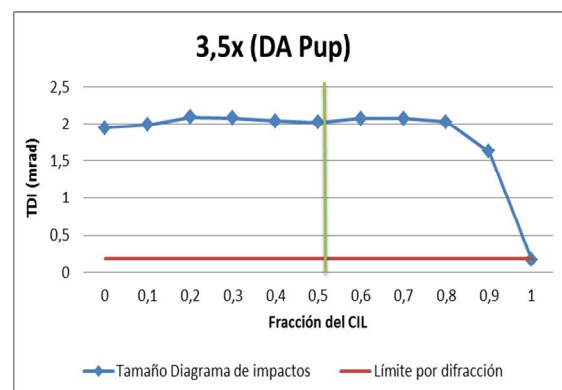


Figura 9.g

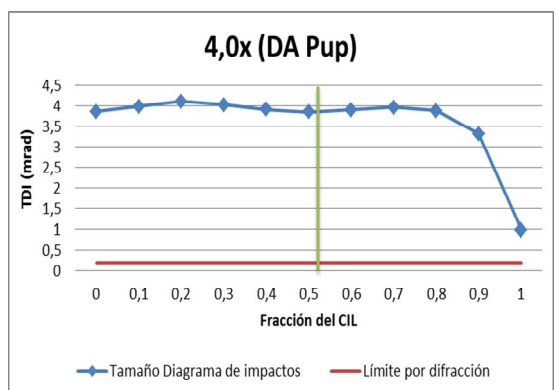


Figura 9.h

Figura 9. Representación del TDI de los telescopios a lo largo del campo.

Como podemos ver, para objetos en zonas cercanas al CIL el TDI sufre un descenso brusco, debido a la menor cantidad de rayos que se transmiten con esa inclinación, y por la desaparición de los rayos más aberrantes. Si consideramos, por ejemplo, la curva del % de transmisión del 1,5x en la figura 8, y la comparamos con la figura 9.a, veremos cómo coincide el descenso brusco con la falta de rayos de la que hablamos.

Es por esto por lo que nos basaremos fundamentalmente en el CIM a la hora de sacar conclusiones en cuanto a la utilidad de los telescopios en el apartado 4.4.

En la figura 10 representamos los valores de las aberraciones de tercer orden para CIM y CIL. Vemos que la tendencia respecto al aumento es la misma en CIL que en CIM, siendo la aberración esférica (figura 10.a) la única que conserva en ambos su valor, ya que no depende del valor del campo. En el resto podemos observar que, en valor absoluto, las aberraciones en CIL son mayores que en CIM, lo que parece contradecir los resultados de TDI obtenidos. Hemos de tener en cuenta que en el cálculo de los coeficientes de aberración OSLO no tiene en cuenta la transmisión de los rayos por el DA y el DC.

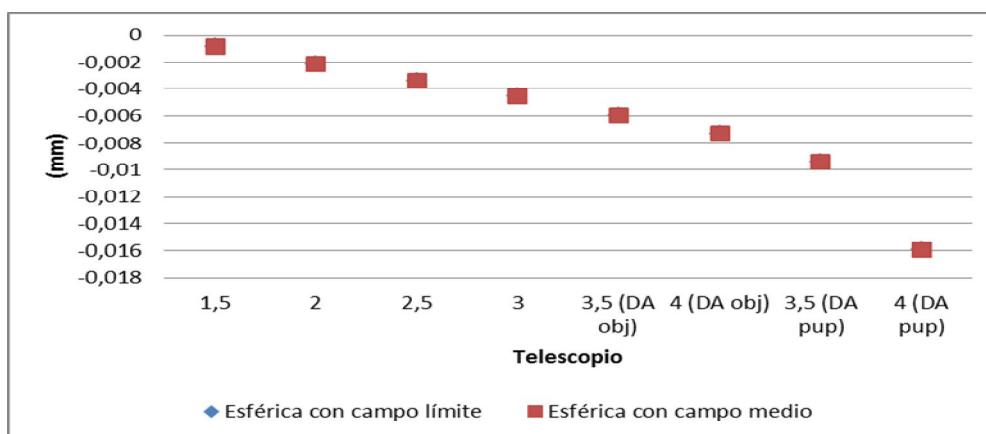


Figura 10.a

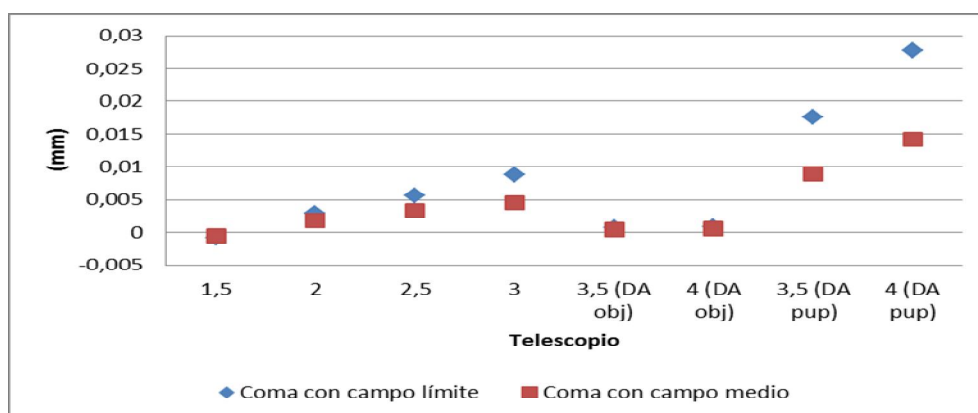


Figura 10.b

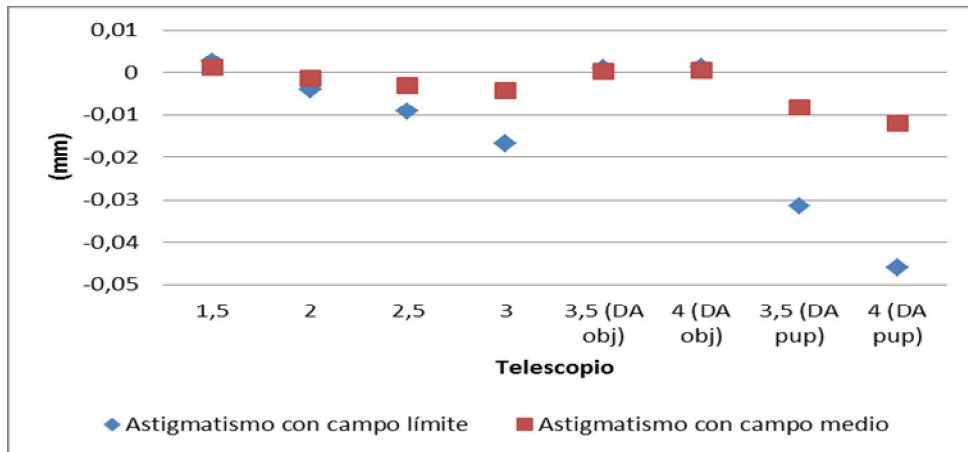


Figura 10.c

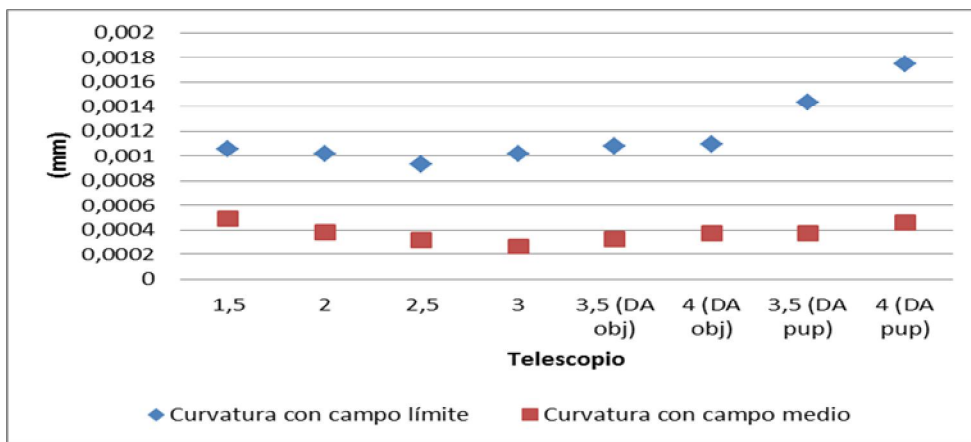


Figura 10.d

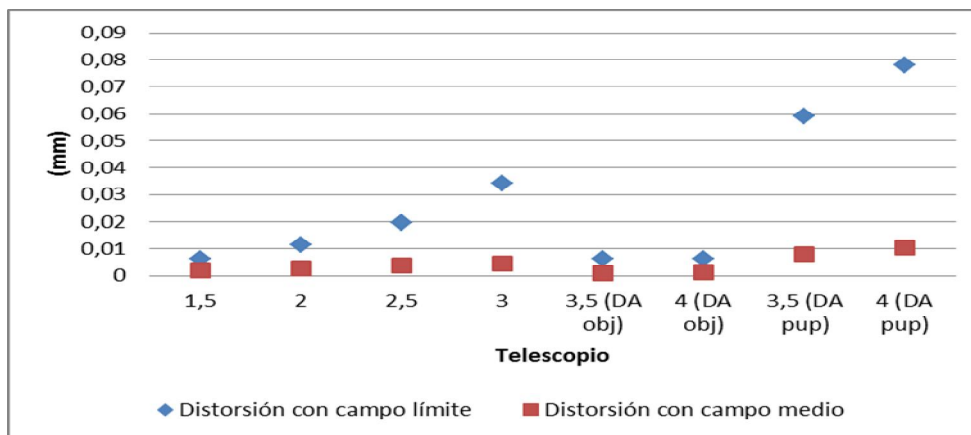


Figura 10.e

Figura 10. Representación de las aberraciones de tercer orden.

La aberración que afecta en eje es la esférica que, en este caso, es negativa, y es mayor cuanto mayor es el aumento. Sin embargo, en el CIM y el CIL el coma, el astigmatismo y la distorsión tienen un valor mayor.

Cuando el DA es el objetivo disminuye el astigmatismo, el coma y la distorsión tanto en el CIM como en el CIL.

### **4.3 Asferización de los biópticos**

El objetivo principal de la asferización de la cara anterior del objetivo es la de estudiar si puede ser mejorado el telescopio minimizando al máximo el efecto de las aberraciones, de manera que consigamos un telescopio bióptico que ofrezca mayor calidad de imagen, con el consecuente aumento de la distancia de observación y el tiempo de reacción.

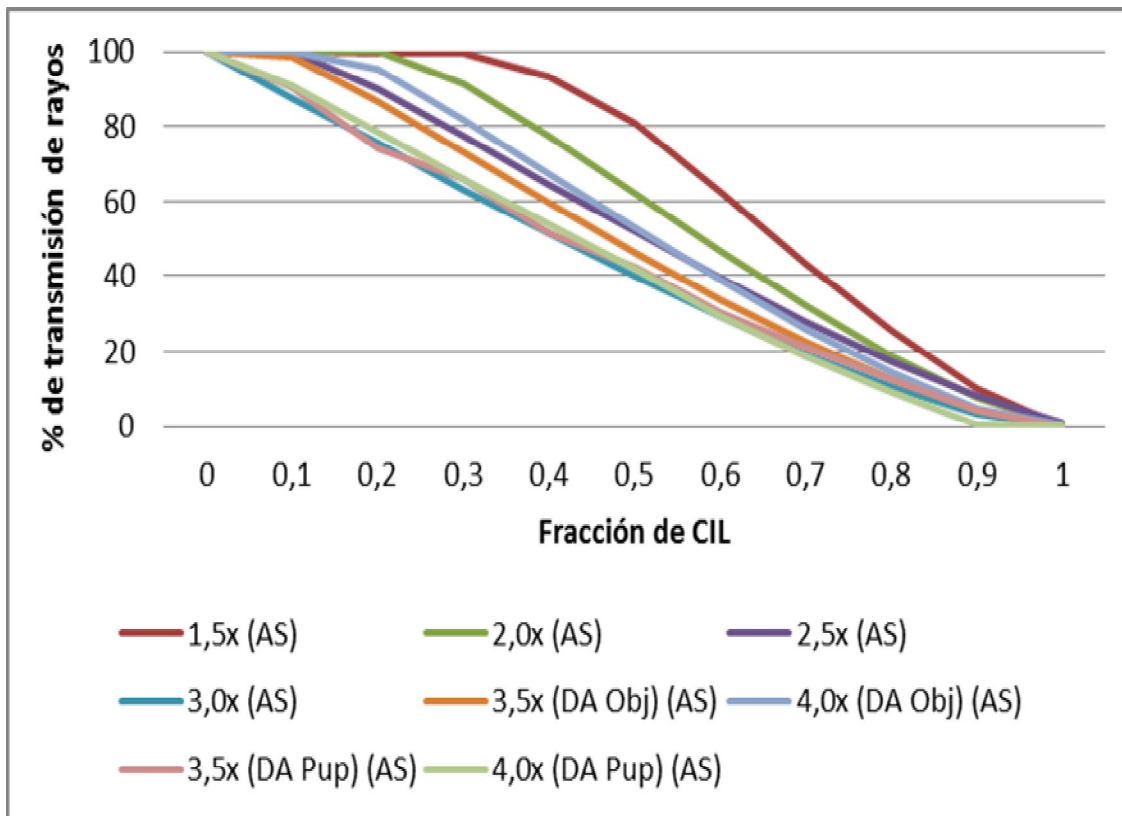
En la tabla 4 tenemos los valores de la constante de conicidad de la superficie anterior del objetivo y la variación de la longitud del telescopio.

**Tabla 4. Valores de la constante de conicidad y longitud que ofrecen el menor diagrama de impactos en eje cuando asferizamos la cara anterior de objetivo.**

TELESCOPIOS (AS)	Constante de conicidad	Longitud (mm)
1,5x	-0,10	16,05
2,0x	-0,20	23,89
2,5x	-0,30	28,46
3,0x	-0,35	31,49
3,5x (DA obj)	-0,40	33,67
4,0x (DA obj)	-0,40	35,27
3,5x (DA pup)	-0,40	33,68
4,0x (DA pup)	-0,40	35,43

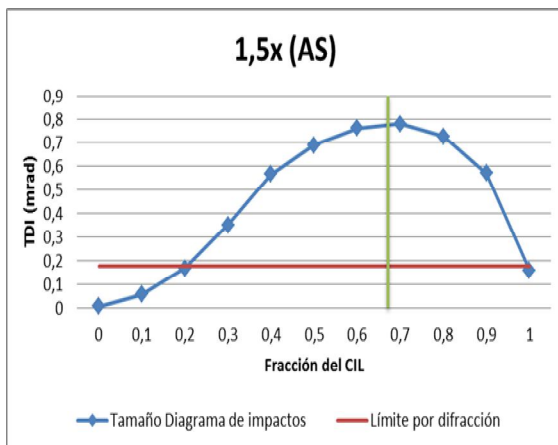
El valor de la constante de conicidad óptimo depende del valor del aumento del telescopio. Siendo necesario ajustar la distancia entre objetivo y ocular para minimizar el TDI.

Los valores del CIM y CIL no varían en ningún caso respecto a los de los telescopios con la superficie anterior del objetivo esférica. La transmisión de rayos apenas sufre variaciones. La figura 11 muestra una representación muy similar a la figura 8, en la que los telescopios no estaban asferizados.

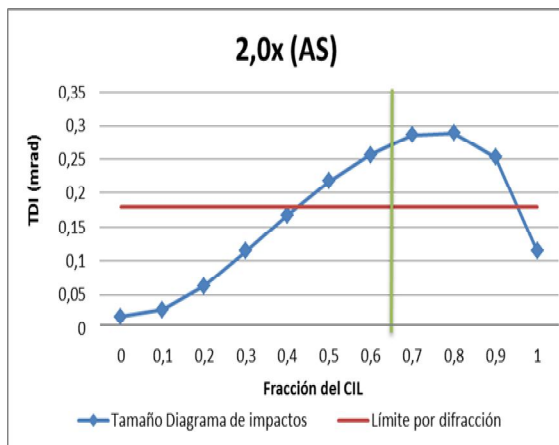


**Figura 11. Transmisión de los rayos de los telescopios esféricos dependiendo de la inclinación con la que inciden en función de la fracción de CIL.**

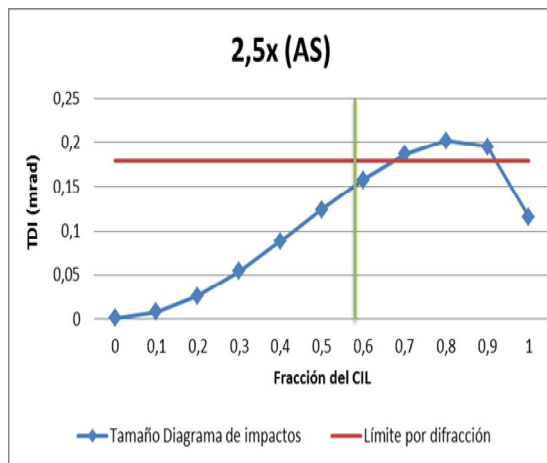
A continuación mostramos las gráficas con la representación del TDI (figura 12).



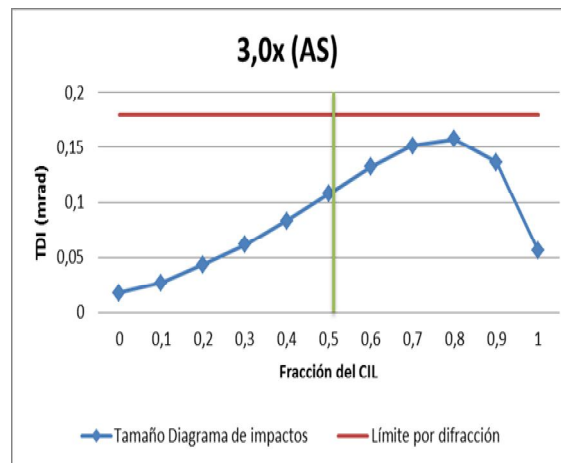
**Figura 12.a**



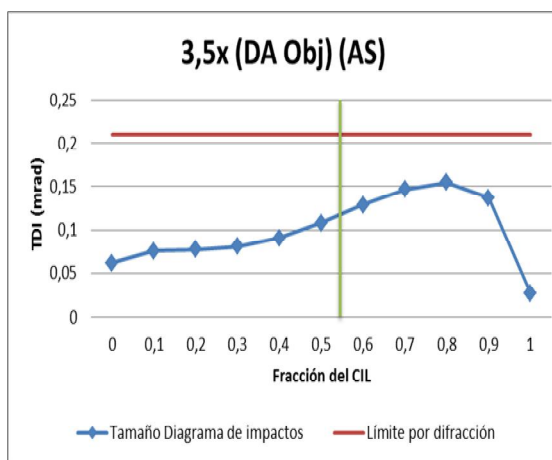
**Figura 12.b**



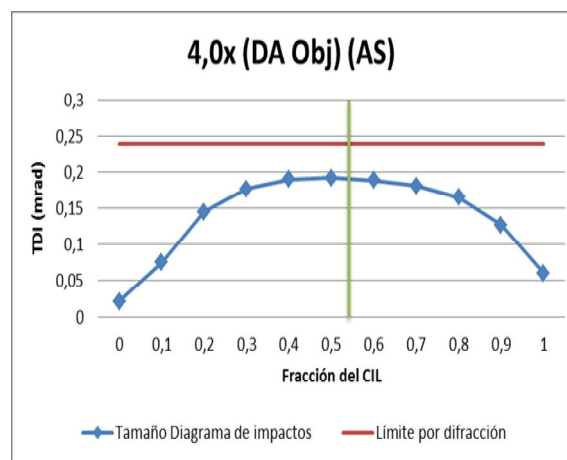
**Figura 12.c**



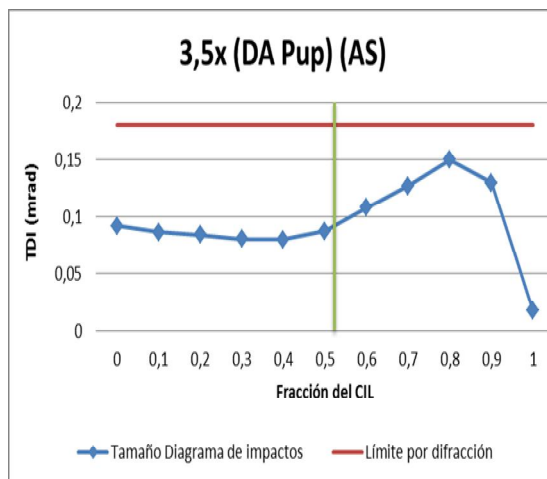
**Figura 12.d**



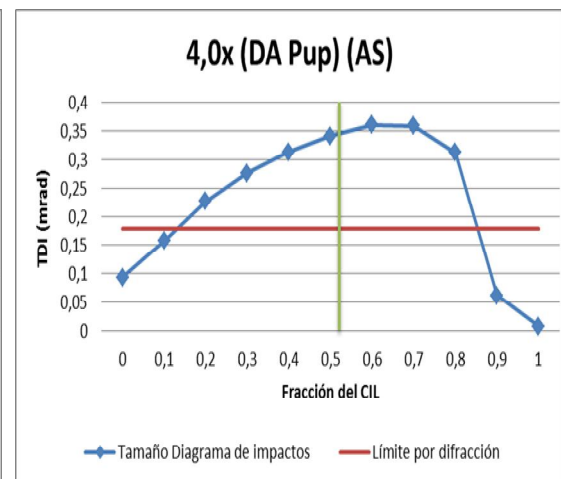
**Figura 12.e**



**Figura 12.f**



**Figura 12.g**



**Figura 12.h**

**Figura 12. Representación del TDI de los telescopios asféricos a lo largo del campo.**

Lo que podemos ver rápidamente comparando la figura 12 con la 9 es que el efecto de las aberraciones se ve disminuido, en algún caso incluso estando el sistema limitado por difracción.

Concluimos, pues, que cuando asferizamos la cara anterior del objetivo, el comportamiento del telescopio mejora en cuanto a la calidad de imagen, y afectará positivamente a las posibilidades de su utilización para la conducción que veremos en el apartado 4.4.

#### **4.4 Análisis de los resultados para la conducción**

Para poder analizar la utilidad de los biópticos para la conducción, valoramos dos características fundamentales: la AV que permite alcanzar el telescopio y el campo visual.

Tal como establecemos en 3.4 para determinar el campo visual útil hemos de tener en cuenta dos factores, la iluminación y el tamaño del diagrama de impactos debido a la aberración. En cuanto a la iluminación consideraremos como tolerable la del CIM en todos los casos.

A continuación analizamos los efectos de la limitación de la aberración/difracción. Si la AV mínima para ver las letras más pequeñas que permite obtener el carnet de conducir B es de 0,5, podemos calcular el tamaño de los trazos de la imagen paraxial de la letra en radianes, para compararlo con el TDI que calcula OSLO. De manera que el TDI tolerable es de  $5,82 \cdot 10^{-4}$  radianes por el aumento del telescopio. En la siguiente tabla mostramos para cada telescopio el campo útil resultante al tener en cuenta ambos factores.

**Tabla 5. Valor del TDI tolerable para tener una AV mínima de 0,5.**

Telescopio	TDI tolerable (radianes)	Campo útil	Campo útil en el telescopio asferizado
1,5x	$8,73 \cdot 10^{-4}$	CIM	CIM
2,0x	$1,16 \cdot 10^{-3}$	CIM	CIM
2,5x	$1,45 \cdot 10^{-3}$	CIM	CIM
3,0x	$1,75 \cdot 10^{-3}$	CIM	CIM
3,5x (DA Obj)	$2,04 \cdot 10^{-3}$	CIM	CIM
4,0x (DA Obj)	$2,33 \cdot 10^{-3}$	CIM	CIM
3,5x (DA Pup)	$2,04 \cdot 10^{-3}$	1,10°	CIM
4,0x (DA Pup)	$2,33 \cdot 10^{-3}$	0,00°	CIM

Encontramos que para AV=0,5 solo están descartados los de 3,5x (1,1° lo consideramos inviable al no abarcar toda la zona de visión foveal) y 4,0x cuyo DA es la pupila (sin asferizar), esto ocurre porque al ser mayor el diámetro del objetivo, hay más aberración esférica.

En el caso del 3,5x (DA pup) tenemos que el TDI es similar para cualquier inclinación hasta el campo útil (ver figura 9.g), de manera que se mantiene por debajo del valor permitido hasta 1,1° de campo, aunque luego varía de manera que para el CIM tiene un valor del TDI menor a  $2,04 \cdot 10^{-3}$ , sin embargo, como viendo que en la figura 9.g la aberración se mantiene al límite de lo que sería permitido para una AV de 0,5, no lo consideramos viable, ya que un paciente que alcanzara con el telescopio un 0,6 no vería nítido a través de él.

En los demás casos, a la vista de estos resultados concluimos que el campo útil en la práctica se ve limitado solo por el número de rayos y no por la aberración, es decir, el campo útil es igual al CIM.

Ahora calculamos la AV alcanzable de cada uno de los telescopios según el efecto de las aberraciones en el campo útil. En general, tendremos más TDI para campo útil que para una inclinación menor.

En principio, la AV alcanzable por una persona a través de un telescopio depende del aumento de éste y de la AV de la persona sin el telescopio. Por ejemplo, una persona con 0,2 de AV con un telescopio de 3,0x alcanzaría 0,6 de AV. En la tabla 6 se muestra la AV máxima calculada que se puede alcanzar con cada telescopio, y la distancia a la que, con esa AV, se puede ver la letra de 10cm de altura, en el caso de que se alcanzara la AV que comentamos.

**Tabla 6. AV alcanzable por cada telescopio y su distancia correspondiente al objeto de 10cm de altura.**

Telescopio	AV alcanzable	Distancia asociada (metros)	AV alcanzable con el telescopio asferizado	Distancia asociada con el telescopio asferizado (metros)
1,5x	0,75	51,55	0,56	38,41
2,0x	1,93	132,89	2,18	149,81
2,5x	1,08	74,18	4,06	279,33
3,0x	0,99	67,87	4,88	335,20
3,5x (DA Obj)	0,88	60,82	4,85	333,33
4,0x (DA Obj)	0,82	56,34	4,85	333,33
3,5x (DA Pup)	0,49	33,98	5,66	388,88
4,0x (DA Pup)	-	-	3,38	232,56



Hemos de tener dos cosas en cuenta:

(1) El cálculo lo hacemos para una inclinación correspondiente al campo útil, que no pertenece a la zona de la fovea, por lo tanto, tenemos que toda AV mostrada será mayor si nos referimos a la visión central. De modo que obtenemos la calidad de imagen en el límite del campo visual útil que, siempre que sea mayor a 0,5 (que en visión central será más), tendremos un telescopio que cumplirá los requisitos mínimos de un bióptico para conducir.

(2) En algunos casos la AV que permite el telescopio es inalcanzable incluso para personas con visión normal. Por ejemplo, el telescopio 3,0x (AS) puede ser utilizado por cualquier persona, sería necesaria una AV de 1,63 ( $1,63 * 3 = 4,88$ ) en el CIM (visión periférica) para que no pudiera ser utilizado, y este valor de 1,63 no es alcanzable por el ojo humano. Por otra parte, una persona con AV de 0,4 en el campo visual, con el telescopio de 1,5x (AS) debería alcanzar una AV de 0,6 y el telescopio no sería utilizable al proporcionar una AV de 0,56.

En la tabla 7 están los valores del campo útil de cada telescopio y el tamaño del objeto que se vería a través de cada telescopio a 34 metros, distancia a la cual se ve la letra de 10cm con una AV de 0,5.

**Tabla 7. Tamaño del campo visible a través de cada bióptico a 34m de distancia.**

Telescopio	Campo útil	Tamaño del cartel que se vería a 34m (metros)
1,5x	15,78°	9,60
2,0x	8,26°	4,95
2,5x	5,40°	3,20
3,0x	3,92°	2,33
3,5x (DA Obj)	3,54°	2,10
4,0x (DA Obj)	3,22°	1,91
3,5x (DA Pup)	3,58° (1,10°)	2,13 (0,65)
4,0x (DA Pup)	3,24° (0,00°)	1,92 (0)

El campo útil es igual tanto para los telescopios que ha sido asferizados como para los que no, a excepción de los dos telescopios cuyo objetivo aumentamos para que el DA fuese el ojo. Entre paréntesis están los valores para los telescopios cuya cara anterior del objetivo no está asferizada.

Este valor que obtenemos a 34 metros, no es más que un valor que nos ayuda a comprender cómo verá alguien a través de un bióptico. Hemos de tener en cuenta que son valores muy concretos. Para una distancia de 100 metros las letras de los carteles complementarios en muchos casos no se podrán distinguir, sin embargo, letras mayores de carteles más grandes como el de la figura 4 sí, dependiendo de la AV y del campo útil del telescopio. En el caso del 4,0x (DA Obj), el de menor campo, a una distancia de 100 metros, por ejemplo, se podría ver un cartel de 5,6 metros de ancho.

Por último, cada telescopio tiene unas características concretas de aumento y campo, por lo que a la hora de recomendarle a una persona con baja visión un bióptico concreto, hemos de tener en cuenta varios factores. Debemos encontrar un equilibrio entre aumento y campo. Si un deficiente visual tiene una AV de 0,25, necesitará al menos un 2x para llegar a 0,5 de AV con un campo de  $8,26^\circ$ , pero hemos de valorar la posibilidad de aumentar su AV a costa del campo, y encontrar un equilibrio entre ambos, en este caso un 2,5x le daría un AV de 0,625 y un campo de  $5,40^\circ$ , lo cual podría ser también una buena opción.

## **5. CONCLUSIONES**

Se diseñaron ocho telescopios de Galileo, y se evaluaron los tamaños del diagrama de impactos y la transmisión de los rayos en cada uno de ellos, con el objetivo de estudiar la viabilidad de su utilización en la conducción como biópticos.

Todos los telescopios diseñados son utilizables como biópticos para conducir, a excepción de los dos de 3,5x y 4,0x de DA la pupila, en los que no se alcanza la AV mínima en el instrumento si no los asferizamos. Y con la salvedad de los de 3,5x y 4,0x de DA el objetivo, cuya luminosidad está limitada por el instrumento en vez de por el ojo humano, si bien es el único inconveniente que tienen.

Hemos visto que los Galileos que sí cumplen las expectativas, lo hacen porque no se ven limitados por aberraciones ni de punto ni de campo, además, tienen un campo útil aceptable. A la hora de evaluar el campo, hemos visto que el campo útil no baja de  $3^\circ$  en ningún caso, teniendo en cuenta que la zona central de visión abarca unos  $2^\circ$ .

También concluimos que la asferización es un recurso que reduce el efecto de la aberración, aumentando la calidad de la imagen sin renunciar a nada de campo útil.

La utilidad de los biópticos queda clara, pero es necesario tener destreza en su uso. Según testimonios reales de la página no oficial de biópticos para conducir en Facebook, algunas personas indican que han tenido que realizar un examen práctico para demostrar que podían llevar esta ayuda visual con soltura, realizando unas prácticas anteriormente.

## 6. **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Página web de la Organización Mundial de la Salud. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/es/>
- [2] Noelia García Sánchez. 'Una guía práctica para una rutina visual en Baja Visión'. Gaceta Óptica. 2008.
- [3] Apuntes de la asignatura "Baja Visión". Tema 4 (parte óptica) "Magnificación" (Grado en óptica y optometría, Universidad de Zaragoza); profesor: Alonso Martínez, Luis María. Curso 2012-2013.
- [4] David Carmona, 'Monografía sobre baja visión'. 2011.
- [5] [http://www.bajavision.es/ayudas\\_introduccion.html#Telescopios](http://www.bajavision.es/ayudas_introduccion.html#Telescopios) \_Recoletos visión.
- [6] Catálogo online de Ocutech <http://www.ocutech.com/Products/>
- [7] Catálogo de Eschenbach, Vision Technology Products, 2011/2012
- [8] Catálogo de Zeiss. 2012
- [9] Javier Sebastián. '¿Qué es un sistema bióptico?'. 2012. <http://www.qvision.es/blogs/javier-sebastian/2012/01/12/que-es-un-sistema-bioptico/>
- [10] Página web de la organización sin ánimo de lucro BiOptic Driving Network. <http://www.biopticdriving.org/AOA.htm>
- [11] Revista Dirección General de Tráfico: 'Discapacitados, al volante no hay minusválidos'. Marzo-Abril 2002.
- [12] <http://www.biopticdrivingusa.com/driving-candidates/>
- [13] Eli Peli y Doron Peli. 'Driving with confidence. A practical guide to driving with low vision'. 2002.
- [14] Barron C. 'BiOptic telescopic spectacles for motor vehicle driving'. J Am Optom Assoc 1991; 62(1):37-41.
- [15] Boletín oficial del estado PRE/2356/2010, por la que se modifica el Anexo IV\* del Reglamento General de Conductores, aprobado por el Real Decreto 818/2009.
- \*ANEXO IV de Real Decreto 772/97. 2004.

---

**Patentes:**

[16] Patente 4.540.238. 'Bilevel telemicroscopic apparatus'. D. Brandon Edwards, Virginia Beach, VA (US), 10 de Septiembre de 1985

[17] Patente US 7.911.710 B2. 'Telemicroscopic apparatus for the enhancement of simultaneous bi-level telescope viewing of objects both far and near'. D. Brandon Edwards, Virginia Beach, VA (US), 22 de Marzo de 2011

[18] Patente 5.680.194. 'Periscopic telemicroscope for spectacles'. Michael T. Pasfield, Livonia, Michigan (US), 21 de Octubre de 1997

---

[19] 'Recomendaciones de señalización vertical' del Gobierno de Aragón (2003).